

Robotic arm for zero gravity e.g. in space - uses gyro compensators for working torques

Patent number: DE4041167
Publication date: 1992-07-02
Inventor: GOTTLIEB STEPHAN DIPL ING (DE)
Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)
Classification:
- **International:** B25J17/00; B64G4/00
- **European:** B25J17/02; B25J19/00D6; B64G4/00
Application number: DE19904041167 19901221
Priority number(s): DE19904041167 19901221

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4041167

The robotic arm is mounted on a torque compensator in which each axis is fitted with gyros to counteract in which each axis is fitted with gyros to counteract any dynamic forces from the working movements. Each gyro axis has two gyros operating in opposing directions with a basic speed. The speed/torque of the gyros is adjusted w.r.t the arm operation to provide a balanced total system. The gyro adjustment is via braking/accelerating drives using stored energy in batteries and with reversible effect motors. A residual drive is applied to overcome hysteresis/frictional losses. Torque can also be adjusted by adjustable bob weights on the gyros. **ADVANTAGE** - Allows rapid movements of robotic arm; simple spacecraft control.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 40 41 167 A 1**

⑤① Int. Cl.⁵:
B 25 J 17/00
B 64 G 4/00

⑳ Aktenzeichen: P 40 41 167.2
㉔ Anmeldetag: 21. 12. 90
㉕ Offenlegungstag: 2. 7. 92

DE 40 41 167 A 1

㉑ Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

㉒ Vertreter:
Tegel-Küppers, L., Dipl.-Ing.Dr.-Ing., Pat.-Anw., 8028
Taufkirchen

㉓ Erfinder:
Gottlieb, Stephan, Dipl.-Ing., 5804 Hardecke, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Vorrichtung zur Durchführung von Handhabungsaufgaben**

⑤⑦ Beschrieben wird eine Vorrichtung zur Durchführung von Handhabungsaufgaben, mit mindestens einem Arm, der um wenigstens eine Achse in bezug auf einen Grundkörper der Vorrichtung drehbar ist, und der ein Werkzeug zur Durchführung der jeweiligen Handhabungsaufgabe trägt.
Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß in dem Grundkörper der Vorrichtung wenigstens eine Einrichtung vorgesehen ist, die ein Drehmoment erzeugt, das dem durch eine Bewegung des Armes erzeugten Moment entgegengerichtet ist.
Ferner wird ein Verfahren zur Steuerung einer derartigen Vorrichtung beschrieben.

DE 40 41 167 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Durchführung von Handhabungsaufgaben, mit mindestens einem Arm, der um wenigstens eine Achse in Bezug auf einen Grundkörper der Vorrichtung drehbar ist, und der ein Werkzeug zur Durchführung der jeweiligen Handhabungsaufgabe trägt.

Wird eine Vorrichtung zur Durchführung von Handhabungsaufgaben, wie beispielsweise ein Roboter für Handlingsaufgaben unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit, also z. B. im Weltraum eingesetzt, fehlt im allgemeinen ein taugliches Bezugssystem, das zur Abstützung der am Roboterbefestigungspunkt auftretenden Kräfte und Momente herangezogen werden kann. Bei derzeit im Weltraum verwendeten Robotern und Manipulatoren wird die Gerätebewegung (z. B. die Armbewegungen) so langsam durchgeführt, daß die auftretenden Kräfte und Momente vernachlässigbar klein sind. Dies hat den Nachteil, daß mit Zunahme des Handhabungsgewichtes die Bewegungsgeschwindigkeit und die dazugehörige Beschleunigung abnehmen und daß damit der schon sehr langsame Handhabungsvorgang noch langsamer ausgeführt werden muß.

Es ist zwar bekannt, verschiedenen Reaktionsgrößen bei Vorrichtungen zur Durchführung von Handhabungsaufgabe zu kompensieren. Nur beispielhaft wird auf einige Kompensationsarten, wie z. B. Gegengewichtskompensation, Fahrkompensation oder Pneumatikkompensation verwiesen. Die bekannten Roboterkompensationssysteme kompensieren im allgemeinen jedoch nur die aus der Gewichtskraft resultierenden statischen Momente und Kräfte, wie sie auf der Erde auftreten. Eine dynamische Kompensation von Momenten wird auch bei mobilen Robotern nicht durchgeführt.

Diese bekannten Kompensationsarten sind daher für verschiedene Einsatzfälle, wie beispielsweise im Weltraum unbrauchbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Durchführung von Handhabungsaufgaben, mit mindestens einem Arm, der um wenigstens eine Achse in Bezug auf einen Grundkörper der Vorrichtung drehbar ist, und der ein Werkzeug zur Durchführung der jeweiligen Handhabungsaufgabe trägt, derart weiterzubilden, daß insbesondere durch die Armbewegung hervorgerufene Momente kompensierbar sind.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Anspruch 1 gekennzeichnet. Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß ist in dem Grundkörper der Vorrichtung wenigstens eine Einrichtung vorgesehen, die ein Drehmoment erzeugt, das dem durch eine Bewegung des Armes erzeugten Moment entgegengerichtet ist, so daß eine kinematische Kompensation des durch die Bewegung der Handhabungs-Vorrichtung erzeugten Moments erfolgt.

Diese Einrichtung zur Momenten-Kompensation weist gemäß Anspruch 3 bevorzugt einen Kreisel auf, dessen Moment das aufgrund der Roboterbewegung erzeugte Moment kompensiert. Dieser Kreisel bzw. die Einrichtung zur Momenten-Kompensation kann dabei beispielsweise in einen "Roboterfuß" oder dgl. eingebaut sein (Anspruch 6), so daß sich — wenn überhaupt — ein nur geringer zusätzlicher Platzbedarf ergibt.

Ferner ist es bevorzugt, wenn die Kreisel durch drehzahlgeregelte Elektromotore angetrieben werden (Anspruch 7), da dann eine sehr genaue Momentensteuerung möglich ist, und darüberhinaus der Motor auch im

Generatorbetrieb betrieben werden kann.

Um bei Inbetriebnahme Vorrichtung ein wirkungsfreies Anlaufen der Einrichtung zur Momenten-Kompensation sicherzustellen sind gemäß den Ansprüchen 4 und 5 je zwei sich um dieselbe Achse drehende Körper, d. h. zwei Kreiselssysteme einer Wirkungsachse gegeneinander geschaltet. Dies bedeutet, daß beim Anlauf ihre Rotationsachsen auf einer Achse in entgegengesetzter Drehrichtung angeordnet sind. Zwischen beiden auf einer Achse befindlichen Kreiselssystemen besteht eine energetische Korrelation.

Um nun ein bei einer Bewegung der Handhabungsvorrichtung auftretendes Drehmoment zu kompensieren, gibt es bevorzugte zwei Möglichkeiten, ein Gegenmoment zu erzeugen:

Bei der im Anspruch 4 gekennzeichneten Möglichkeit wird ausgehend von einer mittleren Drehzahl der Kreisel (z. B. 5000 U/min) ein Stützdrehmoment des Bezugssystems dadurch erzeugt, daß der entsprechende Kreisel in seiner Drehung beschleunigt oder verzögert wird (drehzahlvariable Momentenkompensation). Es ergibt sich dabei je nach Bezugssystemforderung ein positives oder ein negatives Drehmoment, das dem zu kompensierenden negativen bzw. positiven Moment entgegenwirkt. Der Antriebsmotor eines Kreisels hat drei Betriebszustände.

a) Im neutralen Zustand dreht der Motor mit mittlerer Drehzahl. Um diesen Betriebszustand beizubehalten, also um Lagerreibung, Hystereseverluste etc. zu kompensieren, ist ein Grundenergiebedarf notwendig, der bei einem im Weltraum eingesetzten Roboter beispielsweise aus einer Solarzellenanordnung gewonnen werden kann.

b) Bei einer notwendigen Drehzahlabnahme (z. B. Erzeugung eines negativen Drehmoments) wird der Antriebsmotor als Generator betrieben. Die vom Antriebsmotor abgegebene elektrische Energie kann mittels des 4-Quadrantenreglers, der zur Antriebssteuerung notwendig ist, in einem Akku gespeichert werden, um die Energie später — wenn dies erforderlich ist — dem Antriebsmotor wieder zuzuführen.

c) Wird eine Drehzahlzunahme nötig (z. B. Erzeugung eines positiven Drehmoments), entnimmt der Kreiselantrieb dem Akku die kurzzeitig zur Beschleunigung notwendige elektrische Energie (Anspruch 8).

Damit wird bei einer notwendigen Momentenabgabe oder -aufnahme und der damit verbundenen Drehzahländerung des einen Kreisel-systems die gleiche Drehzahländerung, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen (bedingt durch die entgegengesetzten Drehrichtungen) zum Drehzahlwert des gegenüberliegenden Kreisels, addiert. Somit kann das eine Kreisel-system bei einer Kompensationsmomentenanforderung immer den Energiebedarf oder -überschuß des anderen auf der gleichen Wirkungsachse angeordneten Kreisel-systems nutzen.

Das Kompensationssystem nach Anspruch 4 eignet sich insbesondere für weniger dynamische Robotersysteme.

Bei der im Anspruch 5 angegebenen Ausbildung wird ein fest vorgegebener Drehzahl rotierender Kreisel verwendet. Auf diesem sind, unter Berücksichtigung einer Unwuchtvermeidung, zwei oder mehrere Linearsysteme um den Rotationsmittelpunkt angeordnet.

Zur Erzeugung eines Stützdrehmomentes im Bezugssystem sind die Linearschlitten mittels einer Verstelleinrichtung (z. B. Zahnriemen oder Spindel) über den Radius verstellbar. Auf jedem Linearschlitten ist eine Masse angebracht. Im Neutralzustand befinden sich die Linearschlitten in einer Mittelstellung, d. h. auf der Halbstreckenposition der Linearführungen oder auf der Halbradienkreisbahn der Gesamtkreiselladien. Der gesamte Kreiselladien rotiert, wie oben erwähnt, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit (z. B. 3000 U/min). Wird nun zur Momenten-Kompensation ein Gegenmoment benötigt, so werden die Linearschlitten synchron auf ihrer Linearführung nach innen oder außen bewegt. Die so entstehende Radiusanordnung über der Zeit ($dr/dt = V$) in Verbindung mit der ortsabhängigen Hebellänge mit Coriolisbeschleunigung führt zu dem für die Kompensation notwendigen Drehmoment.

Diese Art der Kompensation eignet sich insbesondere für hochdynamische Robotersysteme.

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben, auf die im übrigen bezüglich der Offenbarung aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich verwiesen wird. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung,

Fig. 2 einen Schnitt durch einen "Teil-Kreiselladien", wie er bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 verwendet wird,

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung,

Fig. 4 einen Schnitt durch einen "Teil-Kreiselladien", wie er bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 verwendet wird.

In den folgenden Figuren sind jeweils gleiche oder entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen bezeichnet, so daß diese Teile lediglich einmal erläutert und bei weiterem Auftreten der entsprechenden Bezugszeichen auf eine erneute Vorstellung verzichtet wird. Lediglich dann, wenn die Teile eine abweichende Ausbildung oder Funktion haben, erfolgt eine erneute Beschreibung.

Fig. 1 zeigt perspektivisch, daß drei orthogonal angeordnete Einrichtungen vorgesehen sind, die Momente erzeugen, deren Richtungen bzw. Achsen in der x-, y- und z-Achse liegen. Jede Einrichtung weist einen Kreiselladien auf, dessen Moment das durch die Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert, und der aus zwei Körpern K besteht, die jeweils von einem Motor M in entgegengesetzte Richtung drehbare Massen aufweisen. Eine nicht dargestellte Steuereinheit steuert die Drehzahl der beiden Körper derart, daß das resultierende Moment das durch eine Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert.

Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch einen der Körper K. Jeder Körper K weist ein Gehäuse 1 auf, in dem an Speichen 2 zwei Kreiselladien 3 um eine Achse, beispielsweise die Achse x drehbar gelagert sind. Zum Antrieb ist der Motor M vorgesehen, der drehzahlregelt ist und über ein Getriebe 4 die Speichen 2 mit den daran angebrachten Kreiselladien 3 antreibt.

Die in den Fig. 1 und 2 dargestellte Einrichtung arbeitet wie folgt:

Bei der drehzahlvariablen Momentenkompensation wird von einer mittleren Drehzahl der Kreiselladien (z. B. 5000 U/min) aus ein Stützdrehmoment des Bezugssystems

dadurch erzeugt, daß die Kreiselladien 3 in ihrer Drehung beschleunigt oder verzögert werden, so daß sich je nach Bezugssystemforderung positive oder negative Drehmomente ergeben, die den zu kompensierenden Drehmomenten entgegenwirken. Der Antriebsmotor M eines Kreiselladien hat drei Betriebszustände:

a) Im neutralen Zustand dreht der Motor mit mittlerer Drehzahl. Um diesen Betriebszustand beizubehalten, also um Lagerreibung, Hystereseverluste etc. zu kompensieren, ist ein Grundenergiebedarf notwendig, der ständig erbracht und bei einem im Weltraum eingesetzten Roboter beispielsweise aus einer Solarzellenanordnung gewonnen wird.

b) Bei einer notwendigen Drehzahlabnahme (z. B. Erzeugung eines negativen Drehmoments) wird der Antrieb als Generator betrieben. Die vom Antriebsmotor abgegebene elektrische Energie kann mittels des 4-Quadrantenreglers, der zur Antriebssteuerung notwendig ist, in einem Akku gespeichert werden, um sie später, wenn gefordert, dem Antrieb wieder zuzuführen.

c) Wird eine Drehzahlzunahme erforderlich (z. B. Erzeugung eines positiven Drehmoments), entnimmt der Kreiselladien dem Akku die kurzzeitig zur Beschleunigung notwendige elektrische Energie.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem ebenfalls drei orthogonal angeordnete Einrichtungen vorgesehen sind, die Momente erzeugen, deren Richtungen bzw. Achsen in der x-, y- und z-Achse liegen. Jede Einrichtung weist wiederum einen Kreiselladien auf, dessen Moment das durch die Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert, und der aus zwei Körpern K besteht, die jeweils von einem Motor M in entgegengesetzte Richtung drehbare Massen bzw. Speichen aufweisen. Jeder Körper weist hierzu zwei Speichen 2' auf, auf denen — wie Fig. 4 im einzelnen zeigt — zur Unwuchtvermeidung zwei linear verschiebbare Kreiselladien 3' symmetrisch zur Drehachse x, y bzw. z angeordnet sind. Die linear verschiebbaren Massen 3' sind jeweils auf einem Linearschlitten 5 angeordnet, der mittels einer Linearführung 6 und eines von einem Stellmotor 7 angetriebenen Riemens 8 relativ zur Drehachse x, y bzw. z verstellbar ist. Zum Antrieb ist wiederum der Motor M vorgesehen, der drehzahlregelt ist und über ein Getriebe 4 die Speichen 2' mit den daran angebrachten linear verstellbaren Kreiselladien 3' antreibt.

Eine nicht dargestellte Steuereinheit steuert die Verschiebung der beiden Kreiselladien 3' derart, daß das resultierende Moment das durch eine Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert. Im "Neutralzustand" befinden sich die Linearschlitten 5 in einer Mittelstellung, d. h. auf der Halbstreckenposition der Linearführungen 6 oder auf der Halbradienkreisbahn der Gesamtkreiselladien. Der gesamte Kreiselladien rotiert, wie oben erwähnt, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit (z. B. 3000 U/min). Wird nun zur Momentenkompensation ein Gegenmoment benötigt, so werden die Linearschlitten synchron auf ihrer Linearführung nach innen oder außen bewegt. Die so entstehende Radiusanordnung über der Zeit ($dr/dt = V$) in Verbindung mit der ortsabhängigen Hebellänge mit Coriolisbeschleunigung führt zu dem für die Kompensation notwendigen Drehmoment. Diese Art der Kompensation eignet sich insbesondere für hochdynamische Robotersysteme.

Bei dem Einsatz des Kompensationssystems in einem

Roboter müssen ferner bestimmte Bewegungsstrategien berücksichtigt werden. Alle für einen Roboter möglichen Bewegungen können dann durchgeführt werden:

Die Steuereinheit eines Roboters besteht aus dem Kommunikationssystem, der Bahnsteuerung und dem Lageregler.

Das Kommunikationssystem übergibt der Bahnsteuerung den Auftrag (z. B. Bahnmodul) in einem Zwischenspeicher (Auftragspuffer) und erhält die Ergebnisse (Gelenkkoordinaten der Antriebsachsen) ebenfalls in einem Zwischenspeicher (Ergebnispuffer). Auftrags- und Ergebnispuffer sind als dual ported RAM realisiert. Die übermittelten Aufträge werden in einer Warteschlange (FIFO) abgelegt und in der Reihenfolge ihres Eintreffens abgearbeitet. On-line-Eingriffe in den laufenden Auftrag werden nicht gepuffert, sondern sofort von der Bahnsteuerung berücksichtigt.

Bei der Bahnsteuerung werden alle Achsen gleichzeitig in einem Funktionszusammenhang so verfahren, daß sich der TCP (Tool Center Point) auf einer definierten Bahn bewegt.

Eine Bahnsteuerung stellt Linear- (Gerade zwischen zwei Punkten), Zirkular- (Kreisbogen durch drei Punkte) und Splineinterpolation (Kurve durch beliebig viele Punkte) zur Verfügung. Unterscheiden sich die Orientierungen des Anfangs- und Endpunktes, so werden sie kontinuierlich ineinander überführt. Die Änderungsgeschwindigkeit der Orientierung kann dabei gesteuert werden.

Die Bahnsteuerung selbst umfaßt die Geschwindigkeitssteuerung, den Interpolator und den Koordinatentransformator. Die Geschwindigkeitssteuerung erzeugt sowohl das Geschwindigkeits- als auch das Streckenprofil auf Koordinatenebene. Der Interpolator berechnet Raumkoordinaten im Takt der Abtastzeit mit Hilfe des Streckenprofils. Der Koordinatentransformator berechnet die Gelenkwinkel aus dem Raumkoordinaten. Die Gelenkwinkel werden nach jeder Berechnung zur Weitergabe an den Lageregler dem Kommunikationssystem übergeben.

Aus den Interpolatorwerten der Bahnsteuerung können die zur Momentenkompensation notwendigen Momentenwerte für die Kompensationskreiselsteuerung abgeleitet werden. Diese Momentenwerte müssen mit einem Lagekreiselssystem in Relation gebracht werden.

Es muß darauf geachtet werden, daß ein abgeschlossenes Bahnmodul durchfahren wird. Ein Bahnmodul, bestehend aus Beschleunigungsphase, Geschwindigkeitsphase und Verzögerungsphase, ist so zu planen, daß die aus der Beschleunigungsphase und der Verzögerungsphase auf den Roboter wirkenden Momente gleich groß vom Betrag und entgegengesetzt vom Vorzeichen sind. Während des Abfahrens eines Bahnmoduls muß die bewegte Masse konstant bleiben. Diese Anforderungen an den Roboter sind durch eine Steuerungsstrategie und eine Handhabungsplanung zu bewältigen.

Um ein wirkungsfreies Ablaufen bei den Kompensationssystemen einer Wirkungsachse zu garantieren, sind erfindungsgemäß je zwei Kreiselsysteme gegeneinander geschaltet, d. h. beim Anlauf sind ihre Rotationsachsen auf einer Achse angeordnet, jedoch in entgegengesetzter Drehrichtung.

Vorstehend ist die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens beschrieben worden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Durchführung von Handhabungsaufgaben, mit mindestens einem Arm, der um wenigstens eine Achse in Bezug auf einen Grundkörper der Vorrichtung drehbar ist, und der ein Werkzeug zur Durchführung der jeweiligen Handhabungsaufgabe trägt, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Grundkörper der Vorrichtung wenigstens eine Einrichtung vorgesehen ist, die ein Drehmoment erzeugt, das dem durch eine Bewegung des Armes erzeugten Moment entgegengerichtet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Grundkörper drei Einrichtungen vorgesehen sind, die Momente erzeugen, deren Richtungen nicht in einer Ebene liegen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung(en) einen Kreisel aufweist, dessen Moment das durch die Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Kreisel aus zwei um dieselbe Achse drehbaren Körpern besteht, die von einer Antriebseinrichtung in entgegengesetzter Richtung gedreht werden, und daß eine Steuereinheit die Drehzahl der beiden Körper derart steuert, daß das resultierende Moment das durch eine Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Kreisel aus zwei um dieselbe Achse drehbaren Körpern besteht, die von einer Antriebseinrichtung in entgegengesetzte Richtung mit konstanter Drehzahl gedreht werden, und daß eine Steuereinheit das Trägheitsmoment der beiden Körper derart steuert, daß das resultierende Moment das durch eine Bewegung des Armes erzeugte Moment kompensiert.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Momenten-Kompensation in einen "Roboterfuß" oder dgl. eingebaut ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß drehzahlgeregelte Elektromotoren die Kreisel antreiben.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein 4-Quadrantenregler zur Steuerung des Motors sowie ein Energiespeicher vorgesehen sind, der die im Bremsbetrieb, in dem der Motor als Generator arbeitet, erzeugte Energie zwischenspeichert.
9. Verfahren zur Steuerung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Bahnmodul, bestehend aus einer Beschleunigungsphase, Geschwindigkeitsphase und Verzögerungsphase derart durchfahren wird, daß die aus der Beschleunigungsphase und der Verzögerungsphase auf den Roboter wirkenden Momente gleich groß vom Betrag und entgegengesetzt vom Vorzeichen sind.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß während des Abfahrens eines Bahnmoduls die bewegte Masse konstant ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

BEST AVAILABLE COPY

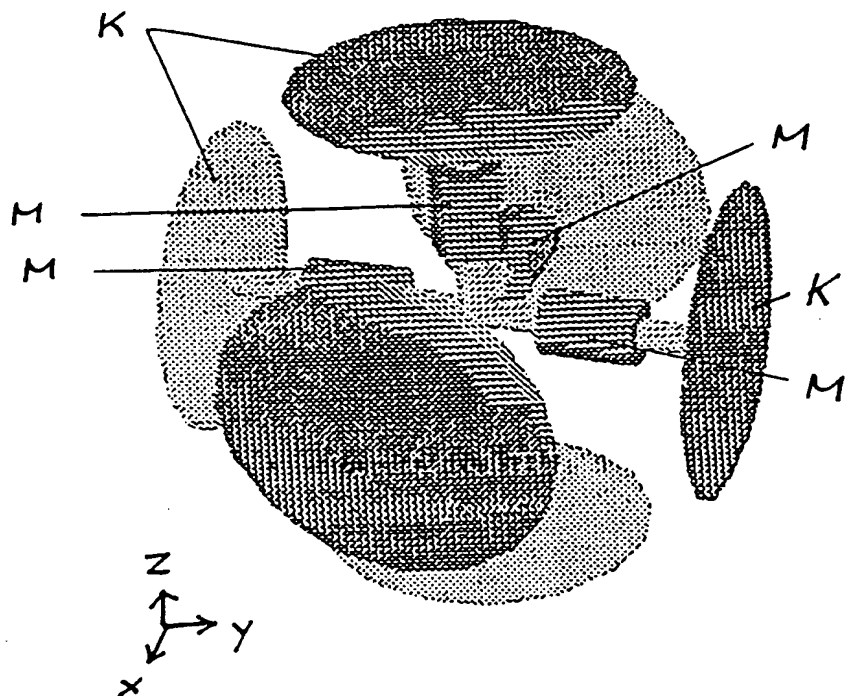


Fig. 1

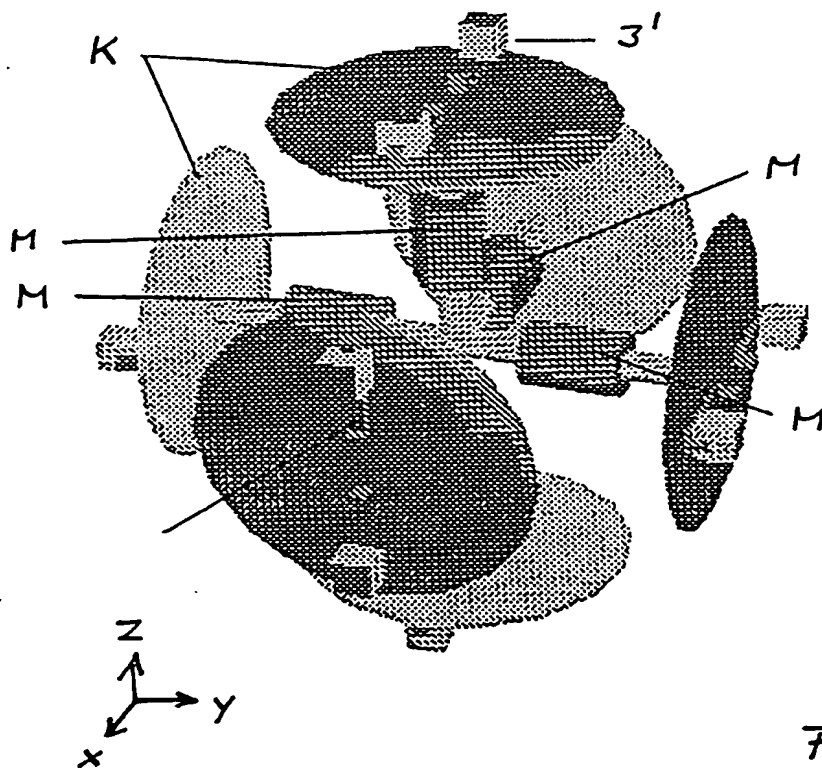


Fig. 3

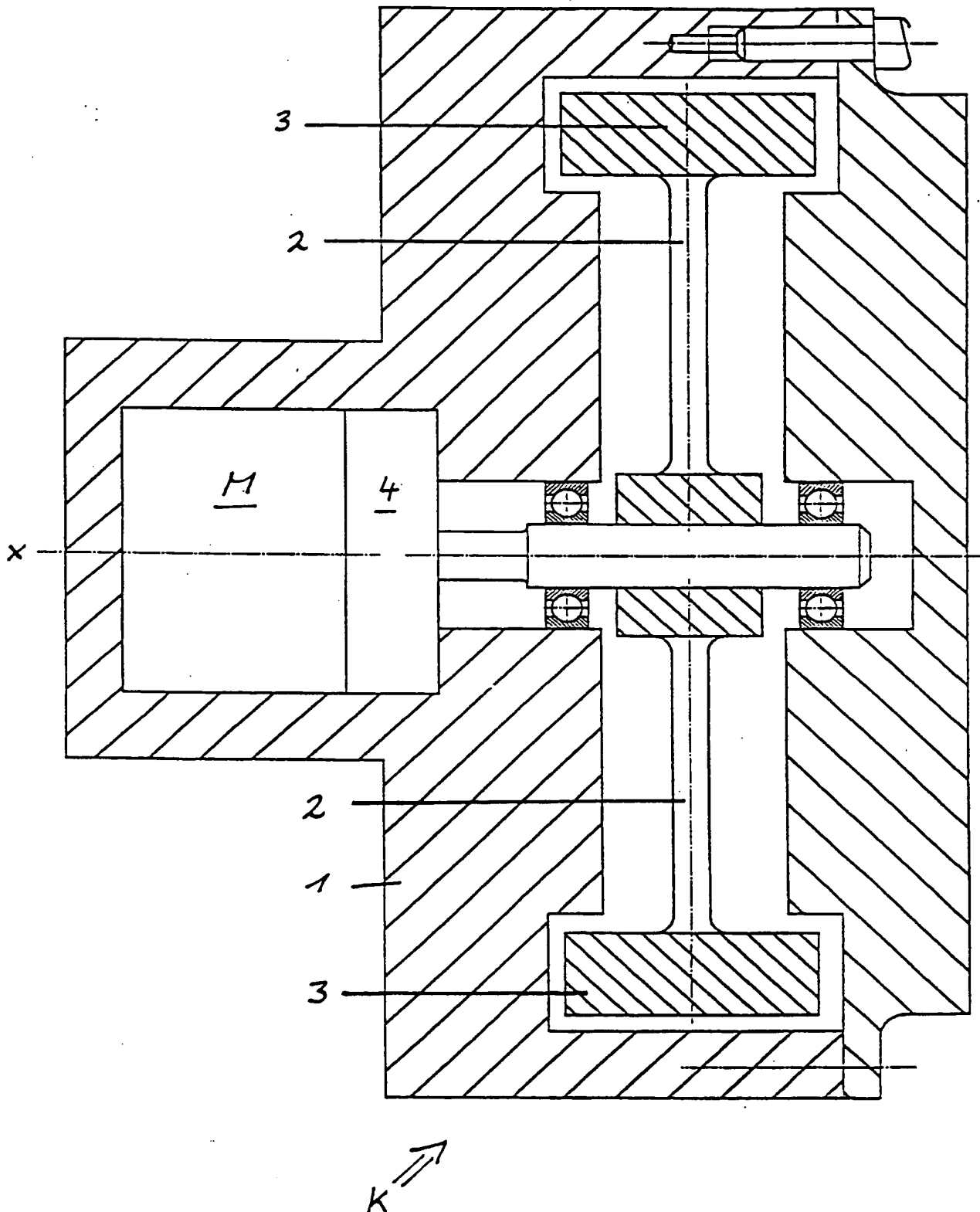


Fig. 2

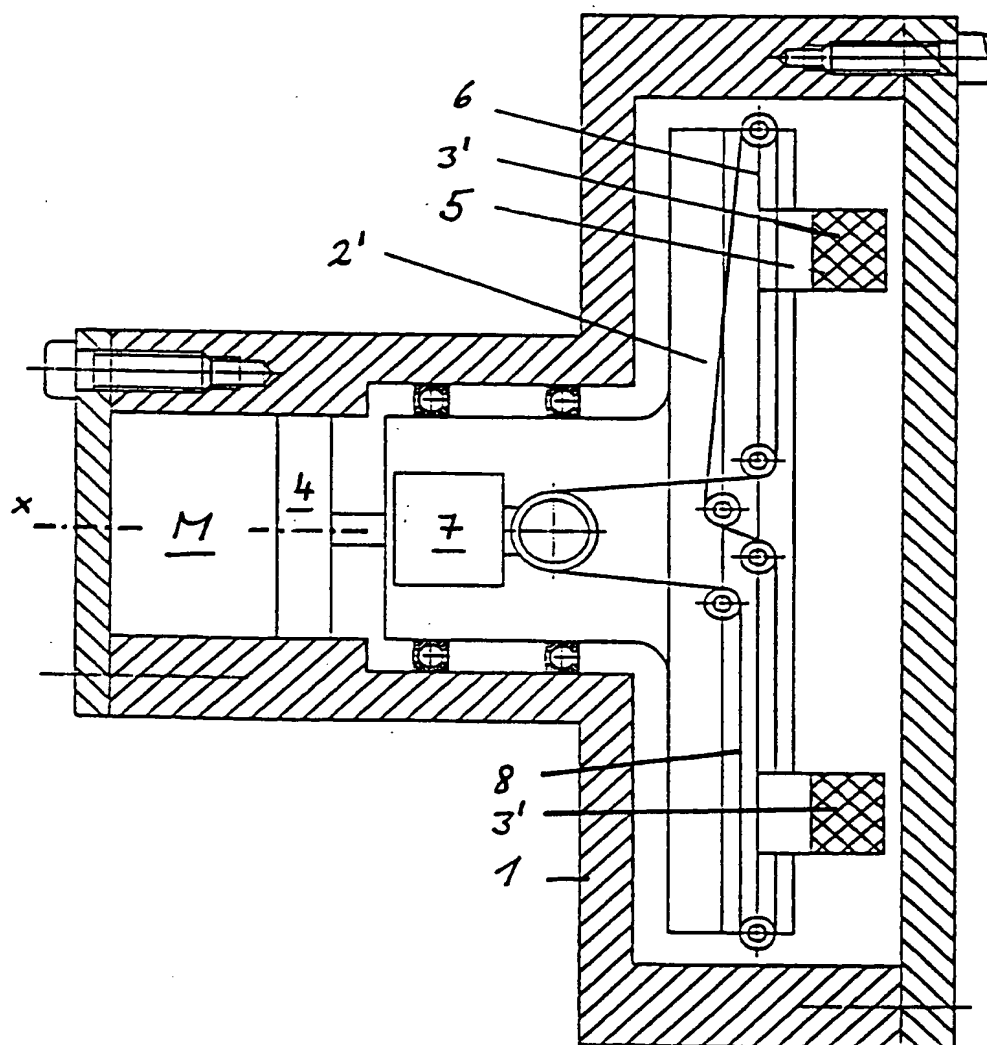


Fig. 4